Feature Articles

困難気道対策の現状と今後の展望

輪状甲状膜穿刺・切開と経気管ジェット換気

Cricothyroidotomy and Percutaneous Transtracheal Jet Ventilation in CVCI Patients

島根大学医学部附属病院集中治療部　准教授
野村　岳志
Takeshi Nomura

周知のように輪状甲状膜穿刺・切開は，American Society of Anesthesiologists（ASA）のDifficult Airway Algorithm[1]やDifficult Airway SocietyのDifficult Airwayガイドライン[2]における換気不能かつ気管挿管不能（can not ventilate, can not intubate：CVCI）状態の最終的な気道確保の手段である．麻酔科医が必ず習得しておかねばならない手技と考えられるが，臨床で麻酔科医が輪状甲状膜穿刺・切開を行う機会は稀である．また輪状甲状膜穿刺による経気管ジェット換気は，緊急時に患者に酸素を投与する非常に有効な方法であり，麻酔時のみならず顔面外傷などでCVCI状態に陥っている救急領域の症例においてもその有用性が認められている．しかし，ジェット換気は簡便な方法ではあるが，潜在する重篤な合併症もある．本稿では緊急時の酸素投与の方法として，輪状甲状膜穿刺による経気管ジェット換気，ならびにキットを使用した輪状甲状膜切開，超緊急時に行う輪状甲状膜切開について解説する．

はじめに

筆者らは，シミュレータを使用した輪状甲状膜穿刺・切開の教育ワークショップを，4年前の2003年の日本麻酔科学会第51回学術集会から開催している．初回の受講者113名を対象としたアンケート結果では，麻酔経験年数10年以下の医師の80％以上が輪状甲状膜切開や経気管ジェット換気（Transtracheal Jet Ventilation：TTJV）を行ったことがないと答えた．また，経験年数6～10年目の麻酔科専門医資格を得る年代の麻酔科医でも，その大多数が，マスク換気不能かつ気管挿管不能（can not ventilate, can not intubate：CVCI）状態における気道確保の最終的な選択肢である輪状甲状膜穿刺・切開を1回も行ったことがないと答えた[3]．確かに輪状甲状膜穿刺自体は初心者にでも比較的安全に行える手技ではあるが，いざ緊急の場で安全に穿刺し，かつ有効に換気を行うためには，やはりトレーニングが必要である．本稿で述べる実際の手順等は，日本医学シミュレーション学会のワークショップで教育している方法である．1人でも多くの

麻酔科医がこの手技に慣れ，それが必要となった状況で安全適切な手技が行えるようになることを期待したい．

なお，「輪状甲状膜穿刺」と「輪状甲状膜切開」という術語はよく同じような使われ方をする．とくにSeldinger法を使用してCricothyroidotomy用カニューレを挿入する場合において，輪状甲状膜穿刺という術語が使用されるときがある．混乱を避けるため，本稿では14G程度までの太さの針やカテーテルを穿刺または留置する場合のみを輪状甲状膜穿刺と定義する．

輪状甲状膜部の解剖

輪状甲状膜部（**図1**）は気管でもっとも体表層に位置し，縦幅約1 cm，横幅約3 cmの広さである．通常は正中部には障害となる重要な血管，神経はない．ただし，筆者らの超音波を用いた検討[4]により，輪状甲状膜部尾側で左右の前頸静脈が正中で癒合して，太い前頸静脈となり中枢へ走行する症例があることも判明したため（**図2**），輪状甲状膜切開部の位置同定は注意深く適切に行う必要がある．

輪状甲状膜穿刺・切開の歴史

輪状甲状膜切開の歴史をひもとくと，緊急時の気道確保の手段として，1921年Jacksonらの報告がある[5]．しかし，当時は声門下狭窄などの合併症に注意が集中して普及しなかった．1970年代になって，BrantiganとGrowが選択的な輪状甲状膜切開を再評価し[6]，再び緊急時の換気および酸素投与の方法としての輪状甲状膜切開が注目された．その後は種々の器具の開発，またジェット換気の適応などにより，現在では輪状甲状膜穿刺・切開はCVCI状態時の最終的な気道確保の手段として認識されている．

輪状甲状膜穿刺

輪状甲状膜穿刺は通常，18G針（多くの場合，複数本の針を刺入する）または14～16Gのカニュレーションにより行われている．しかし，通常の低圧換気では針やカニュラを通して十分な換気はできない．60秒以内に換気不全となるという報告もある[7]．そのため，強制的に陽圧をかけて酸素を送気する方法が採られる．もっとも有効に酸素投与できる方法は，ジェットベンチレータを使用する経気管ジェット換気であろう．

しかし，該当する患者の発生状況によってはすぐにジェットベンチレータが用意できない場合もある．その

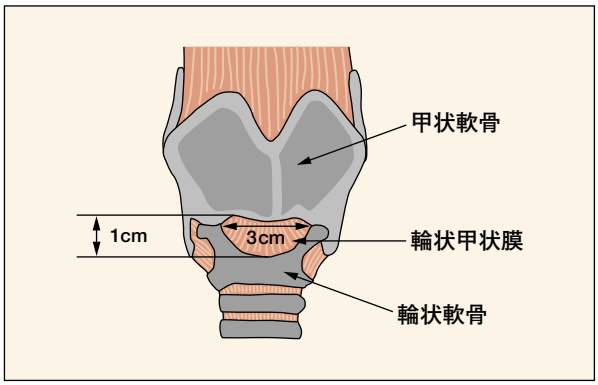

図1　輪状甲状膜の解剖（文献3より引用・改変）

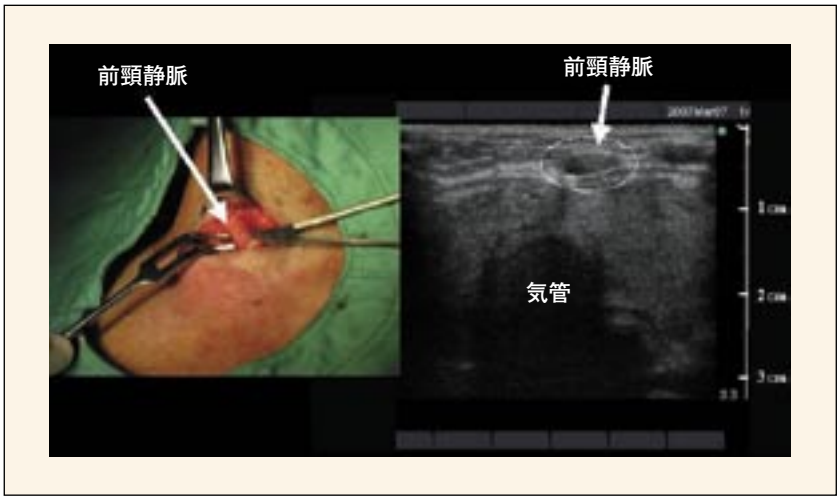

図2　気管前面を走行する太い前頸静脈（文献4より引用・改変）
気管切開時に認められた輪状軟骨尾側正中の太い前頸静脈の術中写真（左）と超音波画像（右）

場合は，やはり輪状甲状膜切開により内径6.0mm程度のカフ付気管チューブの挿入がよい．また，3 mLの注射器に内径7.5mm気管チューブの接続アダプタを接続してバッグバルブマスクにて換気する方法[8]や，麻酔器のコモンガスアウトレットからフラッシュバルブを介して酸素を送る方法などもある．

輪状甲状膜穿刺による経気管ジェット換気

CVCIの状況で最も迅速・確実に酸素化を行う方法として，輪状甲状膜穿刺による経気管ジェット換気法（Transtracheal Jet Ventilation：TTJV）が挙げられる．本稿では，輪状甲状膜に太い静脈留置針を穿刺し，外筒を留置して手動式開放弁付圧力調整器付のマニュアルジェットベンチレータMCS-3（日本メガケア）を使用する方法について解説する．

準備するものとしては，1）生理食塩水を約2 mL満たした5 mL注射器，2）14Gまたは16Gの静脈留置針〔専用のカテーテルとしてはEmergency Transtracheal Airway Catheters 15G（クックジャパン）がある〕，3）マニュアルジェットベンチレータMCS-3の3つである．

実際の手順を説明する．まず，生理食塩水約2 mLを満たした5 mL注射器を14Gまたは16Gの静脈留置針に付けて，陰圧を加えながら皮膚に対して45～60°の角度で刺入する．気管に針先端が刺入し，空気が吸引できた場所で進入を止め，外筒のみを気管尾側にカニュレーションする．挿入し終わったら，ジェットベンチレータを接続する前に再度外筒に注射器を付け，必ず異所カニュレーションでないこと，すなわち空気が抵抗なく十分量吸引できることを確認する．そして，ジェットベンチレータを外筒に接続し，ゆっくりとボタンを押して酸素を送気する（1～2秒間）．初期の設定圧は最低の0.14MPaとして，胸郭の動きを観察し，十分に膨らまない場合には必要に応じて圧力計の圧を上昇させ調節する（0.14～0.35MPa）．

設定圧と穿刺針の太さによる1秒あたりの酸素放出量を参考までに示す（**表1**）．送気後は高頻度ジェット換気と異なり，呼気排出に十分な時間を充てる必要がある．また上気道閉塞のため呼気が全く排出されない状況では，肺の圧損傷や循環虚脱を引き起こす恐れがあるので，速やかに輪状甲状膜切開や気管切開に移行する．

経気管ジェット換気のときに生じる可能性のある合併症として，穿刺・カテーテル留置時に生じる合併症とジェット換気施行時に生じる合併症がある（**表2**）．最も重篤なのは換気用カテーテルを異所挿入してジェット送

表1　調節圧に対する1秒あたりの酸素放出量（mL）

調節酸素圧	穿刺針の太さ		
	20G	18G	16G
0.1MPa（15psi）	120（mL）	170（mL）	260（mL）
0.14MPa（20psi）	130	210	340
0.21MPa（30psi）	200	270	390
0.28MPa（40psi）	230	320	540
0.35MPa（50psi）	280	380	650

（マニュアルジェットベンチレータMCS-3取扱説明書より引用）

表2　輪状甲状膜穿刺の合併症

穿刺・カテーテル留置時：
- 穿刺針による気管後壁の損傷
- 換気用カテーテルの異所挿入：ジェットベンチレータ接続の直前に，カテーテルから再度空気が抵抗なく吸引できることを確認する．気管外でジェット換気で酸素を流入させると重篤な縦隔気腫，皮下気腫となり再度穿刺を試みても部位の確認が困難となる．

ジェット換気施行時：
- 十分な吸気時間：TTJVは高頻度ジェット換気とは異なる．
- カテーテルの固定：静脈留置針は柔らかいため，ジェット換気時に気管から飛び出てきたり，また気管のなかで折れたりすることがある．介助者がいるときは，介助者にカテーテルを輪状甲状膜部で固定してもらい，術者の右手は開放弁，左手は患者の胸の上に当てて換気中の胸郭の動きを観察するとよい．
- 排気の確認：1度目の酸素噴射注入は短時間少量行い，注入中および注入後に空気が気道から排気されることを確認する．上気道完全閉鎖による肺の圧損傷に注意する．

気した場合と，ジェット送気する酸素が排気されずに肺の圧損傷を生じる場合である．カテーテルが気管傍組織に挿入される場合があることを念頭におかねばならないし，また閉鎖腔に送気しないことと，末梢の細い気管支にまでカテーテルを挿入して送気しないことに注意する．

輪状甲状膜切開

輪状甲状膜切開は比較的安全に行える手技ではあるが，合併症もあるため（**表3**），やはり実際に行う前にシミュレータを利用したトレーニングが必要である．輪状甲状膜切開はキットを用いて行う場合と，メスで直接切開する方法がある．またキットにもSeldinger法を使用するキットと直接穿刺・切開挿入するキットが販売されている．

1. キットを用いた輪状甲状膜切開

Seldinger法キット：ミニトラックⅡSeldingerキット（スミスメディカルジャパン），Melker緊急輪状甲状膜切開セット（クックジャパン）がある．

直接穿刺・切開法キット：ミニトラックⅡスタンダードキット（スミスメディカルジャパン），クイックトラック（スミスメディカルジャパン），トラヘルパー®（トップ社），Patil's Airway（クックジャパン）などが市販されている．また欧米ではカフ付のチューブがすぐに挿入できるようなキット（Portex Cricothyroidotomy kit, Smiths Medical）も販売されている[9]．

一般的には，緊急時に迅速に挿入できて酸素化が得られる方法としてはMelker緊急輪状甲状膜切開セットとクイックトラックが優れているといわれる[10]．最もよく用いられているのはおそらく，Melker緊急輪状甲状膜切開セットであると思われる．カナダでは，キットを用いて輪状甲状膜切開を40秒以内に行えるようなトレーニングがマネキンを使用して行われている[11]．各キットの挿入方法はそれぞれの説明書を参考にされたい．

表3　輪状甲状膜切開の適応，禁忌，合併症

適応：
- **経口・経鼻気管挿管が不可能な場合（解剖学的異常，大量出血，喉頭痙攣など），頸部脊髄損傷，顎顔面外傷，口腔咽頭閉塞（異物，腫脹，感染，占拠性病変など），その他**

相対的禁忌：
- **12歳以下の症例，喉頭外傷，気管損傷，声門下狭窄，血液凝固異常，頸部伸展不全，高度肥満，その他**

合併症：
- **出血，気管傍挿入，感染，気管損傷，食道損傷，皮下気腫，縦隔気腫，気胸，低酸素血症，その他**

2. メスを用いた輪状甲状膜切開（直接切開法）

この方法は生死に直面した緊急時，種々のキットを使用せずに輪状甲状膜切開を行う方法である．通常は内径5.5～6.0mmのチューブ挿入が推奨される．輪状甲状膜部から外径約9mm以上のチューブの挿入・留置は，肉芽の発生，声門部の変形などいろいろな術後合併症の発生する可能性が高くなるため，推奨できない．準備するものとしては，1）メス（ディスポーザブルスカルペル15番または20番），2）鉗子または気管フック，3）内径6.0mmのMurphy孔付気管チューブのみである．どこの手術室でも手に入る器具であろう．この3点を袋に入れて各麻酔器に常備している施設もある．

手順としてよく知られているのが4-Step Technique[12]という方法である．しかし，皮膚を横切開すると出血が多いため，縦切開[13]の方法も用いられる．4-Step Techniqueとは

1st Step：輪状甲状膜の切開部を確認する．
2nd Step：切開部をスカルペルで横切開（約2cm）する．このとき，皮膚も輪状甲状膜も一度に切開する．
3rd Step：気管フックで輪状甲状膜を尾側に牽引する．
4th Step：気管チューブを挿入する．

という，4段階の手順で行う方法である．通常1分以内に輪状甲状膜より気管チューブを挿入できる．直接切開法での留意点としては，切開部になるべく早くチューブを挿入するということである．時間が経過すればするほど，切開部からの出血なども増え，切開部が不明瞭になったりして手技が難しくなる．チューブを挿入することにより，止血ができることを念頭におき，なるべく短時間で手技を終える必要がある．

日本医学シミュレーション学会のワークショップで推

奨している気管チューブの挿入法を示す（**図3**）．鉗子先端をMurphy孔に通して気管チューブを鉗子でしっかり把持し，鉗子を挿入する要領で気管にチューブを挿入する．チューブを挿入できたら，気管チューブをカフ上1cmぐらい深さで固定する．気管フックの代わりにペアンで把持して挿入する場合もある．チューブを気管に深く挿入すると，主気管支にチューブ先端が挿入密着する場合もあり，気胸を生じたという報告例[14]もあるので注意する．

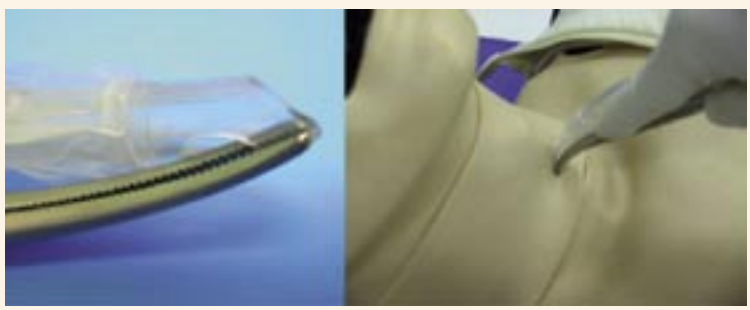

図3　鉗子でのチューブ把持の方法と輪状甲状膜切開部への挿入方法
鉗子を気管チューブのMurphy孔を通してしっかりと把持する（左）．鉗子を挿入する要領でしっかりと輪状甲状膜切開部にチューブを挿入する（右）．

おわりに

輪状甲状膜穿刺・切開を行わなければならない症例には，誰しもが遭遇したくはないであろう．しかし，麻酔救急領域においては必ずいつかはそのような症例に突然遭遇すると考える．そのような状況下で落ち着いて，この手技ができるかどうかは患者の生命に関わる．最近の欧米の外傷医療では，病院到着前のパラメディックによる輪状甲状膜切開が検討されはじめている[7,15]．“Airway is always the first priority.”この言葉を実践するため，1人でも多くの方が輪状甲状膜穿刺・切開のトレーニングを受けることを期待する．

参考文献

1）The American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway：Practice guidelines for management of the difficult airway：An updated report. Anesthesiology 98：1269-1277, 2003
2）Henderson JJ, Popat MT, Latto IP, et al.：Difficult airway society guidelines for management of the unanticipated difficult intubation. Anaesthesia 59：675-694, 2004
3）野村岳志：侵襲的気道確保―輪状甲状膜穿刺・切開. Anet 9：15-18, 2005
4）Shono A, Nomura T, Mihara T, et al.：The ultrasound scanning of the anterior neck for percutaneous dilational tracheostomy（pdt）：Possibility of routine use of ultrasound for pdt. Abstract of 20th Annual Congress of ESICM, 2007
5）Jackson C：High tracheostomy and other errors the chief causes of chronic laryngeal stenosis. Surg Gynecol Obstet 32：392-398, 1921
6）Brantigan C, Grow JB：Cricothyroidotomy：Elective use in respiratory problems requiring tracheostomy. J Thorac Cardiovasc Surg 71：72-81, 1976
7）Scrase I, Woollard M：Needle vs surgical cricothyroidotomy：A short cut to effective ventilation. Anaesthesia 61：962-974, 2006
8）Chong CF, Wang TL, Chang H：Percutaneous transtracheal ventilation without a jet ventilator. Am J Emerg Med 21：507-508, 2006
9）Helm M, Gries A, Mutzbauer T：Surgical approach in difficult airway management. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 19：623-640, 2005
10）Vadodaria BS, Gandhi SD, McIndoe AK：Comparison of four different emergency airway access equipment sets on a human patient simulator. Anaesthesia 59：73-79, 2004
11）Wong DT, Prabhu AJ, Coloma M, et al.：What is the minimum training required for successful cricothyroidotomy?：A study in mannequins. Anesthesiology 98：349-353, 2003
12）Brofeldt BT, Panacek EA, Richards JR：An easy cricothyrotomy approach：The rapid four-step technique. Acad Emerg Med 3：1060-1063, 1996
13）DiGiacomo C, Neshat KK, Angus L, et al.：Emergency cricothyrotomy. Mil Med 168：541-544, 2003
14）Engoren M, Victor PS：Tension pneumothorax and contralateral presumed pneumothorax from endobronchial intubation via cricothyroidotomy. Chest 118：1833-1835, 2000
15）Fortune J, Judkins D, Scanzaroli D, et al.：Efficacy of prehospital surgical cricothyroidectomy in trauma patients. J Trauma 42：832-838, 1997